



**Universidad**  
Zaragoza



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

PROYECTO FIN DE  
CARRERA:

# **DESARROLLO DE PRÁCTICA DE FUNDICION CON MOLDE METALICO**

**Autor: Jorge Romeo Ibáñez**

**Director: Jesús Casanova Agustín**

**Especialidad: Ingeniería Técnica  
Industrial, Mecánica**

**Convocatoria: Marzo 2014**

## INDICE

1. RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO .....	2
2. MOTIVACIÓN Y REALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	3
3. OBJETO DEL PROYECTO FIN DE CARRERA.....	4
4. PROCESO DE TRABAJO .....	7
4.1 Modelado en 3d de las piezas .....	7
MOLDE:.....	8
BEBEDERO .....	10
MACHO .....	14
CAJA DE MACHOS.....	16
5. VARIACIONES INTRODUCIDAS .....	18
5.1 Introducción de una sección de colado menor.....	18
5.2 Variación en el espesor de las paredes del molde .....	21
6. TRABAJO CON SOLID EDGE V19 .....	23
7. APLICACIONES POSTERIORES DEL PFC .....	25
Guión de prácticas de fundición para el alumno .....	25
8. SIMULACION EN QUICK CAST .....	27
9. VALORACION PERSONAL .....	28
ANEXO: PLANOS .....	29

## **1. RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO**

El Proyecto Fin de Carrera que se presenta en este documento trata sobre el desarrollo de una práctica de fundición en molde metálico.

La práctica se concibe como la continuación a todo el trabajo de creación y diseño del modelo y planos de una pieza de fundición realizado por el alumno, así como la posterior fabricación de la pieza en sí por parte del director del proyecto.

Todo el proceso de creación del modelo y planos de la pieza ha sido llevado a cabo con el software informático Solid Edge V19. Una vez creados los planos, el director del proyecto ha fabricado la pieza y se han introducido variaciones en las condiciones de la fundición para así poder observar cuáles son los cambios que produce en la pieza dicha variación de las condiciones de la fundición.

Con posterioridad, se elabora un guión de prácticas que contiene todo el proceso de fabricación que requiere la pieza que se desea conformar. Además, se proporcionará a los alumnos unas nociones básicas de fundición así como unas mínimas pautas del aconsejable comportamiento que ha de llevar consigo un proceso de fabricación de estas características.

Así pues, el trabajo realizado por el alumno en este Proyecto Fin de Carrera se ha basado en el diseño de todos los elementos necesarios para fabricar una pieza por fundición así como en el guión de prácticas con contenido docente en el que se detalla la citada fabricación por fundición.

## 2. MOTIVACIÓN Y REALIZACIÓN DEL PROYECTO

La motivación principal para la realización de este Proyecto Fin de Carrera es la de la finalización de mis estudios de Ingeniería Técnica Industrial en la Universidad de Zaragoza y la de plasmar todos los conocimientos adquiridos durante estos años de estudio en un proyecto más real y cercano a la práctica de cuantos haya podido realizar durante mi etapa universitaria.

Para la realización del proyecto contacté con el profesor de la Universidad de Zaragoza D. Jesús Casanova Agustín. Pertenece al Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. De ese modo se convirtió en el director y decidí realizar mi proyecto bajo su tutela.

El proyecto se inició en Septiembre de 2013 aproximadamente y la fecha de entrega se estima en Marzo de 2014. Mis expectativas iniciales consistían básicamente en aprender, y en ser capaz de llevar a cabo la realización de mi Proyecto Fin de Carrera. Puedo decir que dichas expectativas han sido colmadas holgadamente ya que los conocimientos adquiridos han superado mis expectativas.

Durante la realización del proyecto he modelado las distintas piezas a través del programa Solid Edge V19. Hasta entonces no había tenido contacto con dicho programa y he sido capaz de aprender a manejarlo con cierta soltura durante el periodo de creación del proyecto. Se da información más detallada de mi trabajo con el programa en el apartado 5.

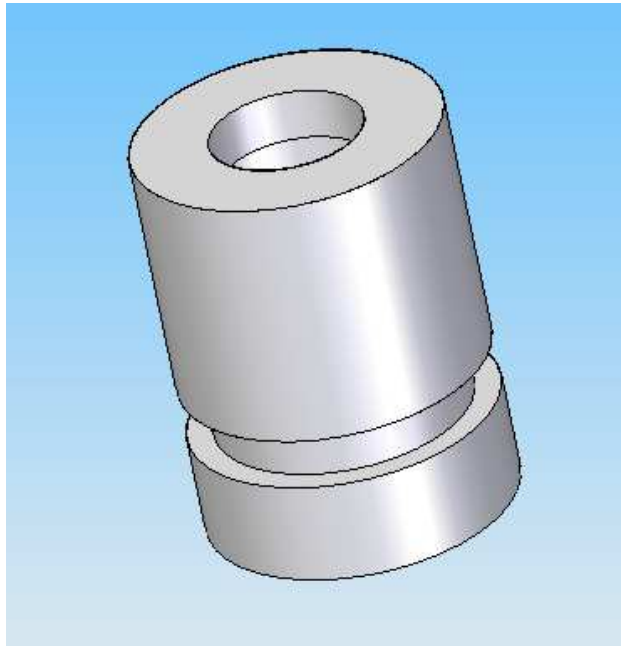
Una motivación añadida fue que el director del proyecto señalara que a la finalización de éste podría haber una aplicación de cara a los alumnos gracias a la realización de un guión en el que estos fueran capaces de fabricar la misma pieza que había sido objeto de mi PFC siguiendo los pasos que se detallaban en el guión. De este modo, los alumnos podrían ver al igual que yo una aplicación práctica de los estudios sobre fundición que se realizan durante los estudios de la Diplomatura de Ingeniería Técnica Industrial.

Este aspecto supuso para mí un incentivo a la hora de emprender este proyecto.

Creo que la realización de este proyecto ha sido muy positiva en mi formación universitaria, y creo asimismo que ha sido un buen final a los estudios de diplomatura realizados. Espero además que todo lo aplicado y aprendido durante los meses que han transcurrido desde que contacté con Jesús me sirva en un futuro en mi vida laboral.

### 3. OBJETO DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

La misión principal de este Proyecto Fin de Carrera es la fabricación de la siguiente pieza por medio de una fundición con molde metálico o coquilla.



Se trata de una pieza cilíndrica con una reducción de diámetro a lo largo de su longitud. El mayor diámetro son 60 mm y el menor 50. Su altura es de 80 mm.

En su interior es hueca, con un diámetro de 30 mm y que posteriormente aumenta a 40 mm.

Así pues, mi Proyecto Fin de Carrera del alumno consistió principalmente en la fabricación de todos los moldes o coquillas necesarios para la fabricación de la pieza. Una vez construidas todas las piezas necesarias en la fundición, se realizará un guion donde se detallen los pasos a seguir para realizar la fundición de forma correcta por parte de los alumnos.

Así pues, los objetivos básicos del Proyecto Fin de Carrera eran los siguientes:

- Diseño y fabricación de todas las piezas necesarias para la fundición.
- Introducción de variaciones en las condiciones de colado y solidificado para su posterior análisis.
- Desarrollo de un guión para el posterior aprendizaje del alumno.

En cuanto a la pieza en sí, se trata de una pieza creada a través de una fundición con moldes metálicos y que iba a tener una cavidad interior gracias a un macho de arena, que se construiría con su propia caja de macho.

El método de creación de piezas por fundición también es un objeto del proyecto. Tratar de que el alumno se familiarizase con dicho proceso de fabricación ha supuesto uno de los objetivos de la realización de este proyecto.

Se denomina fundición al proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad, llamada molde, donde se solidifica.

La fundición en molde arena consiste en colar un metal fundido, típicamente aleaciones de hierro, acero, bronce, latón y otros, en un molde de arena, dejarlo solidificar y posteriormente romper el molde para extraer la pieza fundida.

La fundición con molde metálico, que es la usada en este proyecto fin de carrera y que también es conocida como fundición en molde permanente, usa un molde metálico construido en dos secciones que están diseñadas para cerrar y abrir con precisión y facilidad. Los moldes se hacen comúnmente de acero hierro fundido. La cavidad junto con el sistema de vaciado se forma por maquinado en las dos mitades del molde a fin de lograr una alta precisión dimensional y un buen acabado superficial. Los metales que se funden comúnmente en molde permanente son: aluminio, magnesio, aleaciones de cobre y hierro fundido. Sin embargo, el hierro fundido requiere una alta temperatura de vaciado, 1250 °C a 1500 °C, lo cual acorta significativamente la vida del molde.

Esta técnica de fundición con molde metálico tiene como principal ventaja respecto al molde de arena la significativa ganancia de eficacia, ya que el molde no se destruye después de la fundición y por lo tanto no se necesita un nuevo molde cada vez que se va a crear una nueva pieza.

Una fundición consta básicamente de dos partes: el cuerpo del molde que reproduce la pieza y los machos o núcleos, que nos permiten obtener las cavidades o entrantes de las piezas.

En nuestro caso, hemos elegido un molde metálico, es decir, una coquilla, y un macho de arena que previamente hemos formado en una caja de machos que también es metálica.

Todas las piezas se detallan en apartados sucesivos.

El otro aspecto básico de una fundición es la entrada del material al molde, lo que se conoce como colada.

La colada o vaciado es el proceso que da forma a un objeto al hacer entrar material líquido en un agujero o cavidad formado que se llama molde y dejar que se solidifique el líquido. Cuando el material se solidifica en la cavidad retiene la forma deseada. Después, se retira el molde y queda el objeto sólido conformado.

Existen dos tipos de colada: por arriba o por abajo. En nuestro caso realizaremos la colada por abajo, ya que aunque vayamos a introducir el líquido en el bebedero por la parte superior, la entrada al molde que finalmente dará la forma a la pieza se realiza por abajo, y el llenado será por lo tanto ascendente.

Las operaciones de fundición generan defectos en las piezas. Los más comunes son los siguientes:

- Rechupe: cavidad que se crea al enfriarse la pieza moldeada, debido a que el volumen del metal sólido es menor que en estado líquido.
- Segregación: distribución irregular de los componentes de la aleación en diferentes lugares de la pieza.
- Sopladuras: pequeñas cavidades situadas en distintos lugares de la pieza moldeada.

En nuestro caso, analizaremos los defectos que se hayan producido en la pieza y se propondrán y aplicarán posibles soluciones a ellos, lo que se podrá ver en el apartado de variaciones introducidas.

Profundizando en los elementos de la fundición, definimos los siguientes términos:

Los respiraderos tiene como función permitir el flujo hacia el exterior del aire y gases que se acumulan durante el proceso de fundición en el interior del molde. Permiten que se realice un buen proceso de llenado de la cavidad.

El bebedero es el conducto que recibe el metal y lo lleva hacia el interior del molde; el extremo del bebedero tiene forma de cono para facilitar el proceso de verter el metal fundido.

El desbarbado consiste en la eliminación de los conductos de alimentación, mazarota y rebarbas.

A continuación paso a detallar el proceso de trabajo.

## 4. PROCESO DE TRABAJO

Las distintas fases del proyecto han sido las siguientes:

- Idea inicial y planteamiento del proyecto y aplicaciones.
- Modelado en 3d de todas las piezas que intervienen en el proceso con el programa informático Solid Edge V19.
- Realización de los planos correspondientes a todas las piezas.
- Fabricación, por parte del director del proyecto, de todas las piezas necesarias para la fundición.
- Desarrollo de un guión de prácticas para el alumno.

### 4.1 Modelado en 3d de las piezas

Esta fase de trabajo fue realizada en su totalidad con la ayuda del programa informático Solid Edge V19. En el apartado 5 se detalla cómo fue mi trabajo con el programa.

Centrándonos en el proceso en sí, el programa resultó ser fundamental en esta fase del proyecto. Funcionó como asistente para mí y me permitió poder diseñar todas y cada una de las piezas que iban a formar parte del proyecto de una forma intuitiva y precisa, conociendo de primera mano los problemas que iban surgiendo y siendo capaz de darles una solución rápida y eficaz.

Se decidió fabricar dos moldes o coquillas.

Uno de ellos sería el molde de la colada, que contendría un tubo mediante el cual se desplazara la colada hasta llegar a la parte inferior del otro molde. A este molde lo denominaremos a partir de ahora bebedero.

Este segundo molde, recibiría la colada en su parte inferior y tendría la forma de la pieza, es el molde que corresponde a la parte fundida que compone la pieza. Así pues, tiene todas las medidas finales que se decidieron y que daban a nuestra pieza la forma y medidas deseadas.

Además, el hecho de que la pieza sea hueca hace necesario la introducción de un macho en el proceso. Se tomó la decisión de introducir un macho de arena. Más adelante se detalla como fue su fabricación.

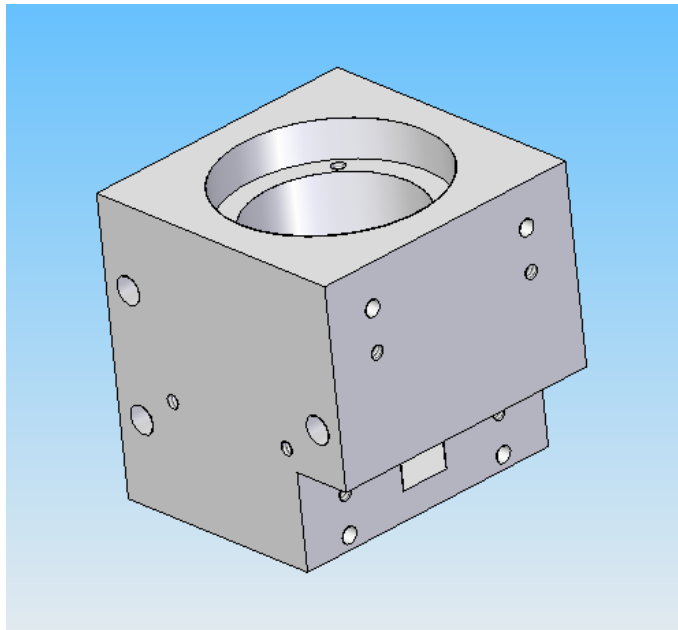
Así pues, el total de piezas que se consideraron necesarias para que la fundición resultara ser óptima fueron cuatro, que posteriormente y por cuestiones que luego se detallan pasaron a ser 7 y que detallo a continuación.



## MOLDE:

Se trata de la pieza con más importancia en el proceso de la fundición. Es una coquilla o molde metálico que posee un hueco que reproduce la que será la forma de la pieza.

El molde recibirá la colada por su parte inferior y esta recorrerá toda la coquilla en sentido ascendente. El macho colgará de su parte superior, creando el hueco en la pieza para que coincida con las especificaciones dadas.



Las dimensiones del molde son 104 mm de altura y 100 mm de anchura. Su largura en la parte superior es de 100 mm y de 78.62 en su parte inferior.

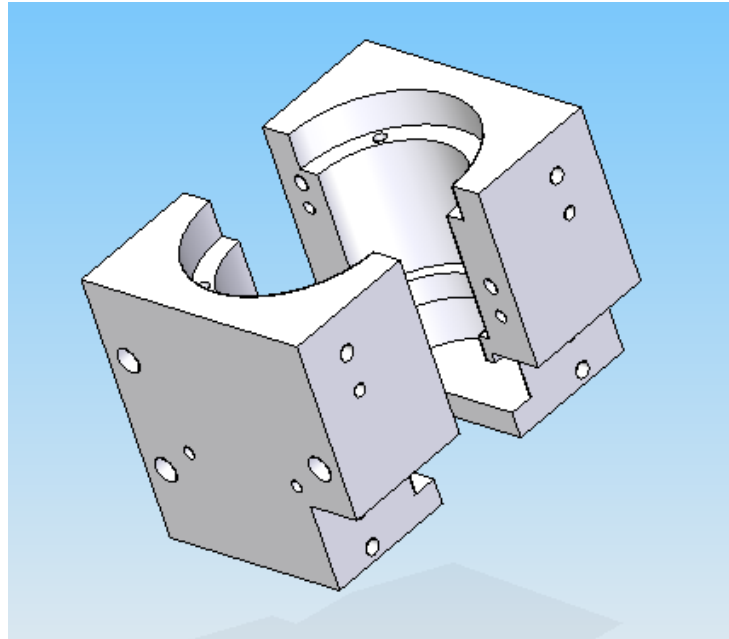
Como se puede observar, la coquilla es ligeramente más grande que el mayor diámetro que tiene nuestra pieza. El tamaño de las paredes del molde influye en la colada y en resultado final de la pieza como se estudiará en apartados posteriores.

La serie de agujeros que se pueden ver en las paredes de la pieza, constituyen las uniones, ya sean atornilladas o mediante pasadores que el molde tendrá con el resto de piezas.

El hueco que se observa en su parte inferior es el lugar por donde entrará la colada, y tienes unas dimensiones que encajarán con el hueco que tiene el bebedero para dicha función.

Esta coquilla será partida en dos para posibilitar que una vez la colada haya solidificado y formado la pieza, podamos separarla; de otro modo sería imposible sacar la pieza de dentro de la coquilla.

El resultado en 3d de la pieza partida en dos es el siguiente:



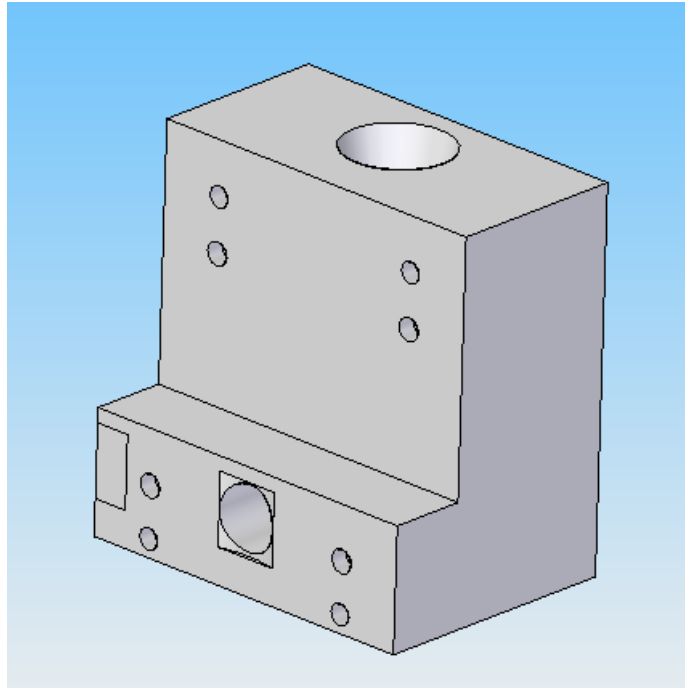
En la parte delantera del molde se unirá el bebedero que será el otro molde que recibe la entrada de la colada. La unión se hará mediante tornillos de métrica 6, que son los que se han utilizado para todas las uniones de las piezas. Además, y en aras de conseguir un ajuste más preciso, se idearon unos pasadores para que en el momento de atornillar las piezas encajaran perfectamente y no se produjera una unión defectuosa. De este modo, en las dos caras (o cuatro si consideramos la pieza partida) del molde se encuentran los 8 agujeros con los que lo uniremos al bebedero, 4 de ellos roscados y 4 de ellos para los pasadores.

En la parte delantera del molde donde se encuentran los agujeros citados existe una especie de escalón. El objetivo es que la colada llegará justamente a la parte de abajo del hueco que conformará el último cilindro de la pieza. De ese modo, el posterior corte de la parte de la colada sobrante (no pertenece a la pieza) se hace más sencillo.

En la parte superior del molde irá atornillado el macho. La pieza en sí se explica más adelante pero básicamente es la pieza que permite formar el hueco que existe en el interior de nuestra pieza.

## BEBEDERO

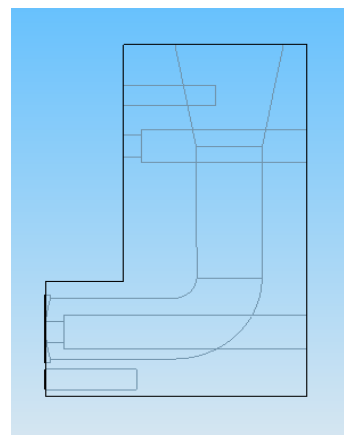
El bebedero es la parte de la coquilla por donde introduciremos la colada. Es la encargada de hacer llegar la colada a través de su agujero hasta la parte inferior del molde que he comentado anteriormente.



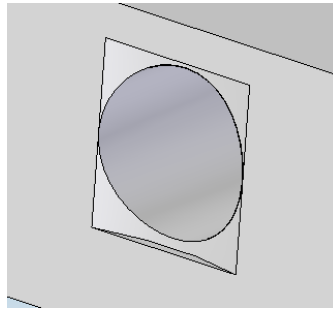
La forma del bebedero hará que esta pieza se acople perfectamente al molde gracias a los agujeros que se ven y que son ocho: cuatro de ellos para los pasadores y otros cuatro que son pasantes para introducir los tornillos que serán roscados en las caras del molde.

Las medidas del bebedero coinciden en altura y anchura con molde, 104 y 100 mm respectivamente. La largura es de 50 mm en su parte superior y de 71,38 mm en su parte inferior.

El orificio que se observa en la cara superior es el lugar por donde introduciremos la colada. Dicho orificio tiene 30 mm de diámetro y es el inicio del conducto por donde se desplaza la colada y que finaliza en la parte inferior del molde. Del diámetro inicial de 30 mm se pasa a uno final de 18 mm. Tiene forma de cono para facilitar el proceso de verter el metal fundido.



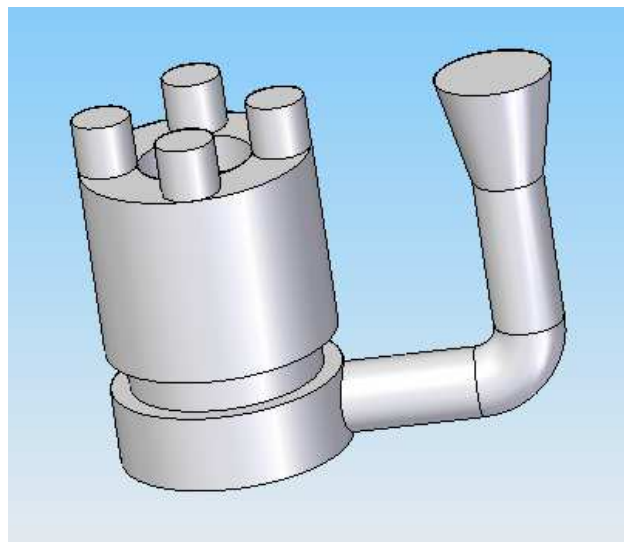
En cuanto a la unión de ambas piezas, se realizó por la parte inferior del molde del apartado anterior debido a que es mejor para la colada.



La forma que se observa es la unión que tendrá el bebedero con el molde. El diámetro es de 18 mm, pero además tiene la forma del diámetro inferior de nuestra pieza. La entrada de la colada al molde no se podía realizar en ángulo recto, ya que posteriormente la mecanización de esa parte inferior de la pieza solidificada para darle el diámetro de 60 mm que la pieza ha de tener en su parte inferior sería extremadamente complicada, casi imposible de conseguir. Lo que se ha hecho ha sido robarle un trozo de cilindro al molde e introducirlo en el bebedero. Así pues, el bebedero reproducirá una parte de esa porción de la pieza

La anchura del cuadrado que se ve en la imagen es de 18 mm, igual que el cilindro de la colada. Su altura se corresponde con la altura del último cilindro de la pieza objetivo, que son 20 mm.

Para conseguir una visión más intuitiva de cómo resultaría la fundición, se modeló en 3d el resultado de la misma.



Se muestra todo el material que solidifica después de la colada.

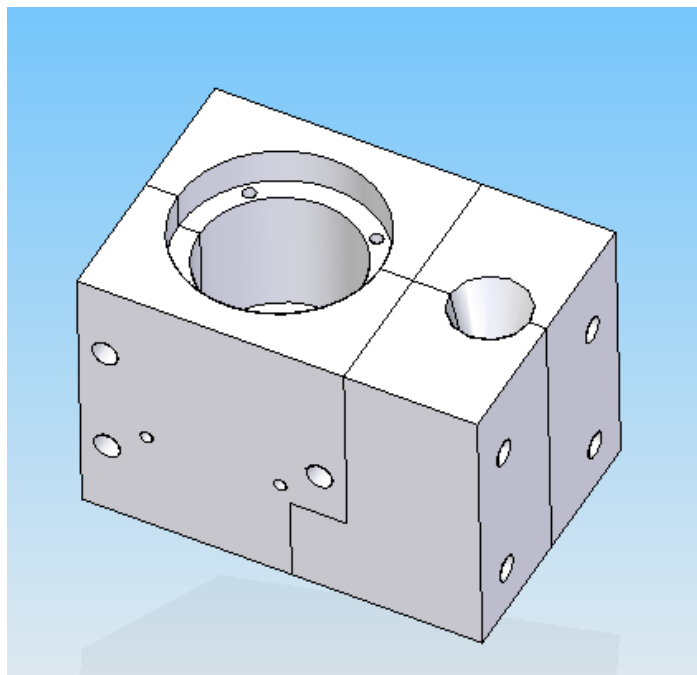
En la imagen se puede observar el cilindro de la colada, que correspondería a la parte del molde del bebedero y como ese conducto por donde se ha desplazado el líquido toma la forma de la pieza cuando entra al molde.

La parte que se desecharía es por lo tanto todo el conducto que se observa en la parte derecha del material solidificado hasta que se llega al cilindro de la parte inferior de la pieza.

Mediante el proceso de desbarbado quitaríamos todo el material que no conforma la pieza.

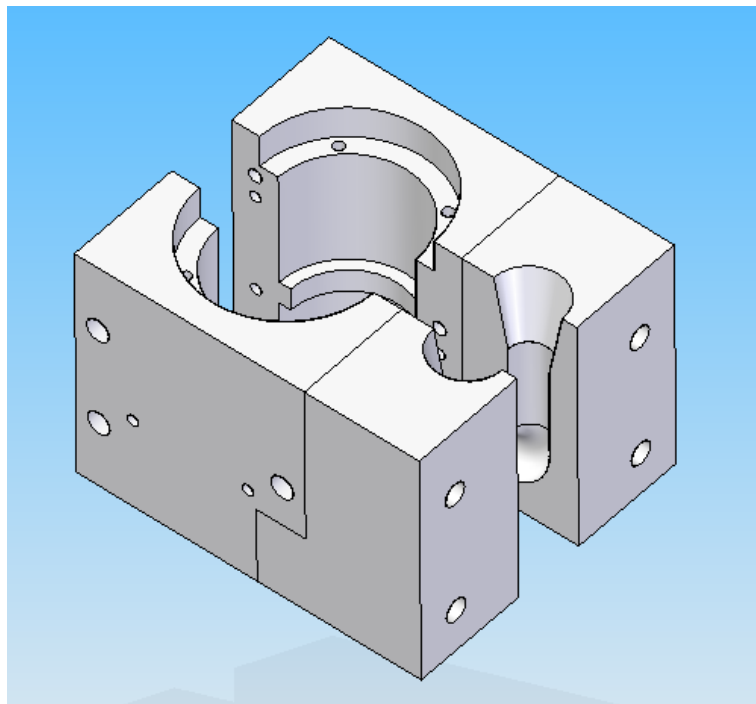
Como resultado de la fundición, se observan en la parte superior del cilindro 4 acumulaciones de material, que podemos asemejar a unas mazarotas, que posteriormente serán eliminadas. Dichas mazarotas son resultado de la fundición y de 4 orificios que se sitúan en la parte superior del macho. Son ideadas para que la fundición “respire” y para que el material pueda tener una salida. Se comenta con más detalle cuando se habla del macho.

Juntando ambas piezas (molde y bebedero), la geometría resultante y que formaría la coquilla es la siguiente:



En cuanto a la unión entre estas piezas, la fijación se hará mediante pasadores de diámetro 6 mm. Existen cuatro, dos en cada pieza y uno en cada cara de contacto entre el molde y el bebedero. Una vez fijados, la unión se realizará mediante cuatro tornillos M6 que tienen el agujero roscado en el molde, y los agujeros pasantes en el bebedero. De este modo, ambas piezas quedaran unidas firmemente evitando así cualquier problema durante el proceso de colado.

Para facilitar el desmontaje de la coquilla después de la solidificación, también se partió en dos el bebedero para de esa forma poder despegar solidariamente cada mitad del molde con cada mitad del bebedero evitándonos tener que quitar muchos tornillos para realizar el proceso de desmolde. Se observa mejor en la siguiente imagen.



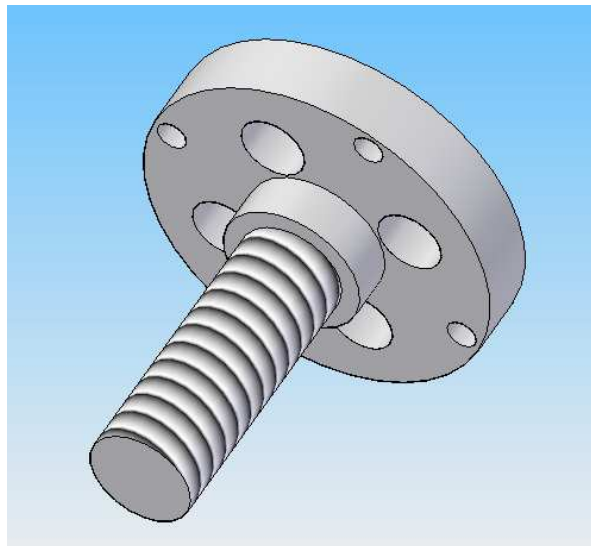
De esta manera, al realizar el desmoldeo sólo se tendrán que desenroscar tres tornillos, lo que hará mucho más sencillo ese proceso.

## MACHO

El macho es la pieza que vamos a introducir por la parte superior del molde y que nos va a servir para poder reproducir en la fundición el hueco interior que debe tener la pieza que debemos fabricar.

El macho va a estar compuesto de arena, que se compactará previamente en una caja de machos. La arena se quedará adherida al macho gracias a la compactación y no se desprenderá de él aunque este posicionado boca abajo durante el proceso de fundición.

Así pues, al referirnos al macho, estamos hablando en realidad del portamachos, que es la pieza sobre la que lo construiremos. Una vez adherida la arena es cuando se conforma realmente el macho.



La pieza consta de un cilindro en su parte superior, que es lo que encajará con el molde. Tiene un diámetro de 76 mm y tiene ocho agujeros.

Los cuatro con mayor tamaño son los respiraderos que se decidió darle a la fundición. Las mazarotas que se comentaban en el apartado anterior son el resultado de esos cuatro agujeros que tienen un diámetro de 14 mm. Su función es ventilar la fundición y tratar de que ésta “respire” y de ese modo pueda expulsar con mayor facilidad todos los gases que se producen durante la solidificación.

Los otros cuatro agujeros más pequeños que se observan son pasantes y coinciden con los cuatro agujeros roscados que tiene el molde en la zona donde ambas piezas coinciden. Con esta unión atornillada, se asegura la sujeción del macho al molde y se evita que este subiera hacia arriba en el momento en el que el líquido de la colada ejerciera toda la presión sobre él.

El cilindro que sigue a la parte superior del macho tiene un diámetro de 29,90 mm. La medida del hueco con el que tendrá que coincidir en el molde es de 30 mm. Esta diferencia en la medida de ambas partes, se realiza para que la unión de ambas se realice de forma un poco forzada y así tratar de darle un poco más de rigidez y fuerza a la unión. De este modo intentaremos mitigar como lo hemos hecho con la unión atornillada comentada anteriormente, los efectos de la presión que el líquido de la colada realizará sobre el macho. Esta parte de la pieza se corresponde con el cilindro hueco de la pieza de diámetro 30 mm.

La última parte del macho es el cilindro roscado que se puede observar. El motivo por el que se ha introducido esa geometría es la necesidad de crear una superficie donde la arena se pueda adherir y de esa manera conformar un macho rígido. Se eligió geometría roscada M22 ya que se pensó que al no ser lisa, la arena podría adherirse mejor. Además se trata de una medida de rosca bastante estandarizada, lo que ayudará a su fabricación. La longitud del cilindro roscado se corresponde con la longitud del cilindro hueco de diámetro 40 mm.

La geometría de dicho cilindro no podía ser lisa porque se debe considerar que el macho va a estar colgado hacia abajo. Si la superficie fuera lisa la arena se desprendería y se resbalaría echando a perder toda la colada. Es por eso que se decidió roscar dicha superficie, para evitar ese problema y dotar de robustez al sistema.

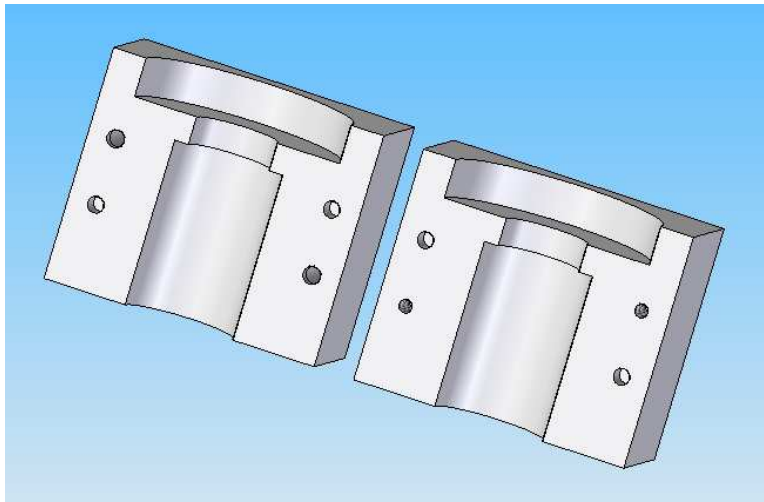
La operación para la creación del macho en sí se detalla en la descripción de la siguiente pieza.



## CAJA DE MACHOS

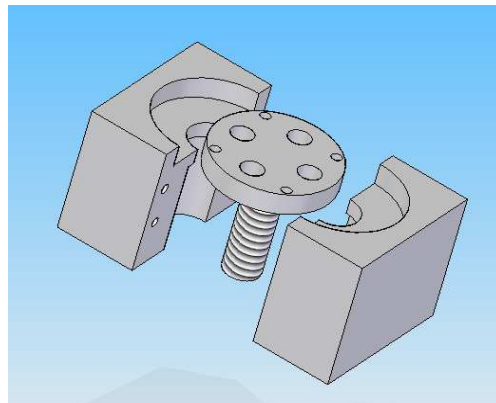
La función principal de esta pieza es la de alojar al macho durante la creación de éste. Se trata de una pieza hueca por dentro por ese mismo motivo y que está abierta en su parte inferior. De ese modo, podremos introducir la arena y compactarla una vez introducido el macho.

Así quedaría la caja de machos abierta y antes de alojar el macho en ella.

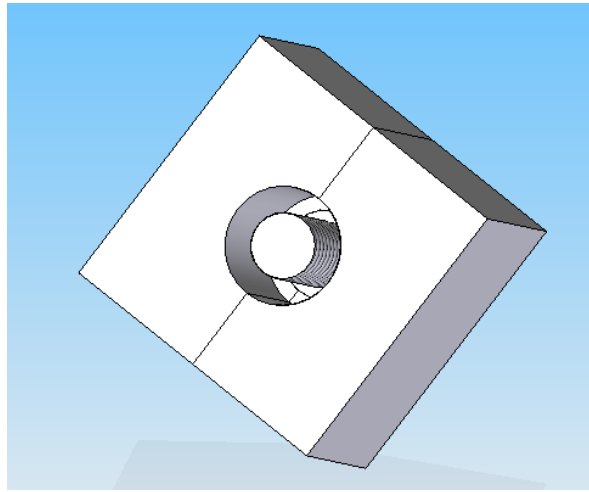


La pieza está partida en dos para posibilitar la extracción del macho y la conexión entre ambas mitades se realizará uniones atornilladas. Existen agujeros para introducir pasadores (diámetro 6 mm) y de ese modo fijar la pieza y en una de las mitades existen dos agujeros roscados M6 para alojar los tornillos. La otra mitad tiene agujeros pasantes para introducir y extraer los tornillos una vez creado el macho.

El hueco interior tiene forma de cilindro ya que es la parte con la que vamos a darle dimensiones y forma al macho. En la siguiente imagen se observa como quedaría el conjunto.



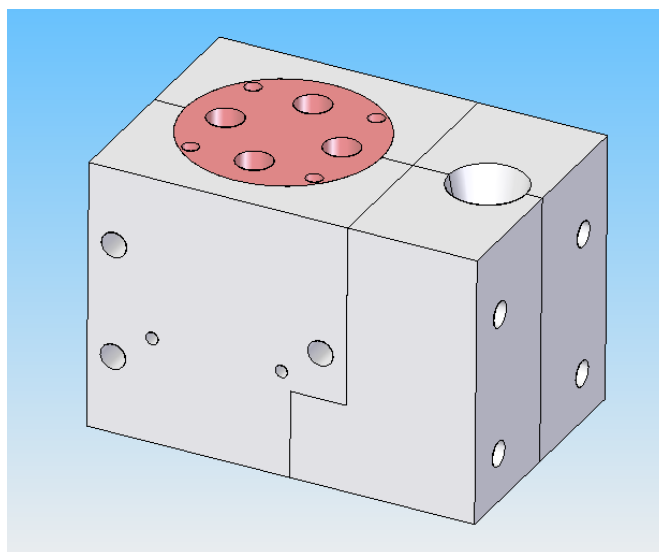
Una vez completamente cerrada y con el macho dentro de la caja, se le da la vuelta a la caja poniéndola boca arriba. En la imagen se ve la posición en la que queda.



La arena se introduce por el hueco y se compacta con la ayuda de utensilios apropiados para ello. Se debe llenar de arena la totalidad del hueco, dejándolo a la altura de la caja porque ésta tiene la medida justa en cuanto a longitud que debe tener el macho.

Para la extracción del macho, se desatornillan las dos mitades de la caja y se saca el mismo ya conformado.

A modo de resumen, se puede observar cómo sería todo el conjunto de la coquilla en su totalidad.



## 5. VARIACIONES INTRODUCIDAS

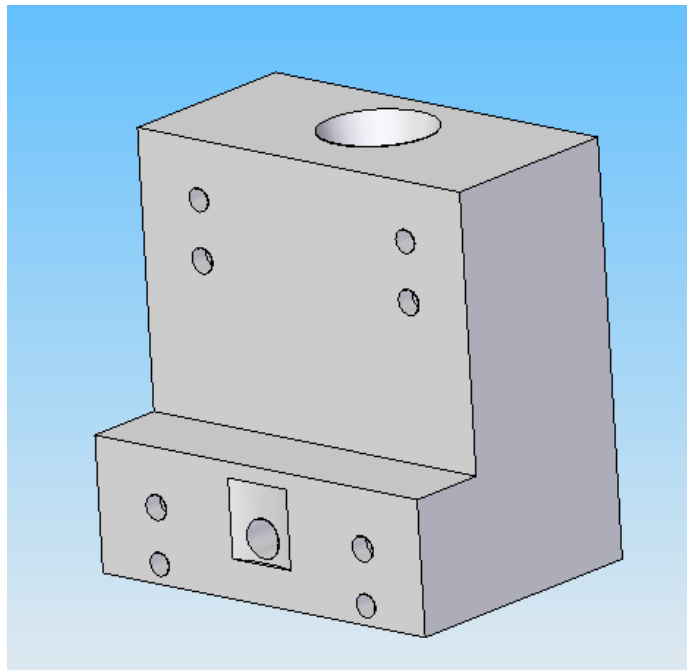
### 5.1 Introducción de una sección de colado menor

Uno de los objetivos principales del proyecto era la de cambiar las condiciones en las que se realizaba la colada para su posterior análisis y observar las diferencias con el proceso del que se ha hablado hasta ahora.

Se realizaron cambios en el conducto que debía conducir el líquido desde la entrada del bebedero hasta la parte inferior del molde. El bebedero tenía una sección de 18 mm en su entrada al molde y se decidió realizar una modificación hasta dejarla en 10 mm.

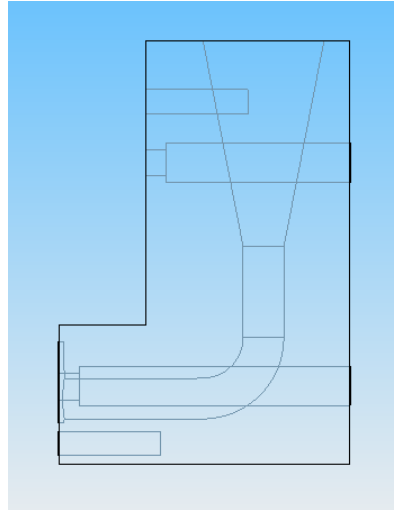
La razón era el estudio posterior y el análisis de las diferencias que se habían producido en la pieza respecto al llenado que se había realizado anteriormente.

El conducto del bebedero cambió siendo el resultado el siguiente.

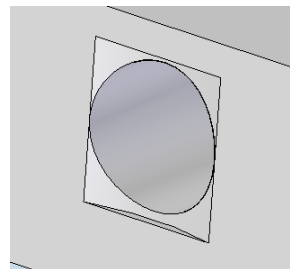
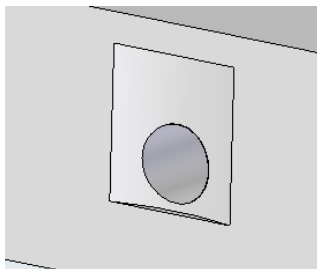


Se puede observar que el único cambio introducido ha sido el cambio en la sección del conducto de llenado. El resto de la pieza permanece igual. Las uniones al molde se realizarán de la misma manera y este bebedero también va partido en dos para facilitar y agilizar el posterior desmoldeo. Las dimensiones exteriores tampoco han sido modificadas.

La sección del agujero por el que se introduce la colada permanece constante y como en el caso anterior, va disminuyendo en una geometría cónica para ayudar al llenado hasta el diámetro que se decidió para el conducto. El ángulo de conicidad también es el mismo y por lo tanto, la longitud de la sección cónica es mayor en este caso que en el anterior debido a la disminución de la sección. Se aprecia en la siguiente imagen.



El punto inferior de la sección de colado una vez el líquido entra en el molde es el mismo en ambos casos. Es por eso por lo que dicha sección no está centrada en el rectángulo curvado que imita la forma cilíndrica de la parte inferior de la pieza que debemos fabricar. Se aprecia mejor con las siguientes ilustraciones.



Se observa claramente que el rectángulo arriba mencionado que copia la forma cilíndrica de la pieza es el mismo, y que el cambio se realiza única y exclusivamente en la sección que llega a dicho rectángulo.

Se puede ver también como en la sección con menor diámetro, ésta no se coloca en el centro del rectángulo, sino que su parte inferior coincide con la sección de mayor diámetro. La razón es que se quería modificar lo mínimo posible las condiciones de llenado, y sólo variar la sección de éste, intentando que el lugar en el que el líquido entrara al molde fuera el mismo.

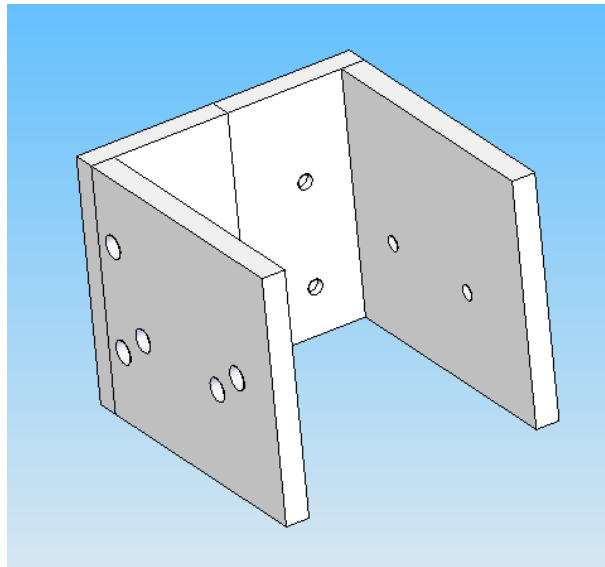
El objetivo de variar la sección de la colada es poder cambiar la velocidad de ésta. A menor sección en el conducto de colada, mayor será la velocidad del líquido por lo que cambiará las condiciones de enfriamiento o solidificación, variando de ese modo el resultado de la pieza

La velocidad de vaciado es el caudal con que se vierte el metal fundido dentro del molde. Si la velocidad es muy lenta, el metal puede enfriarse antes de llenar la cavidad. Si la velocidad de vaciado es excesiva provoca turbulencia y puede convertirse en un problema serio en la conformación de la pieza.

En nuestro caso, pasamos de una sección mayor a otra menor y por lo tanto, la velocidad de vaciado aumentará. Será objeto de análisis cuáles son las diferencias producidas en los defectos de la pieza si los hubiere en función de los cambios en la velocidad de vaciado.

## 5.2 Variación en el espesor de las paredes del molde

Para esta segunda modificación se decidió realizar un cambio en una de las variables que afecta al proceso de solidificación del metal fundido. La variación a introducir sería un aumento en el espesor de las paredes del molde, aumentándolo gracias a la fabricación de unas piezas que formarían una U a su alrededor. Las piezas en cuestión son las siguientes.



Las piezas aumentarían el espesor de las paredes del molde en 10 mm, su anchura. Su altura corresponde con la del molde y el bebedero y la largura no se adoptó ninguna medida concreta, solo que rodearan a la totalidad del molde siendo no necesaria la misma condición para el bebedero. La razón de ello es que lo interesante para nuestro análisis es la solidificación en el molde, dónde se conforma la pieza en cuestión.

La pieza trasera de la U está partida en dos para separarse solidariamente en el momento del desmoldeo con las dos mitades de cada molde, con el mismo interés que el expuesto anteriormente, la facilidad y rapidez a la hora de desatornillar en el momento que queramos expulsar la pieza del molde. Así pues, dos agujeros pasantes en cada mitad permitirán introducir los tornillos que se enroscarán a las dos partes del molde.

Analizando las otras dos piezas de la U, la que se encuentra a la derecha en la imagen tiene dos agujeros pasantes con el fin de pasar dos tornillos que fijen dicha pieza a la mitad del molde que le corresponde.

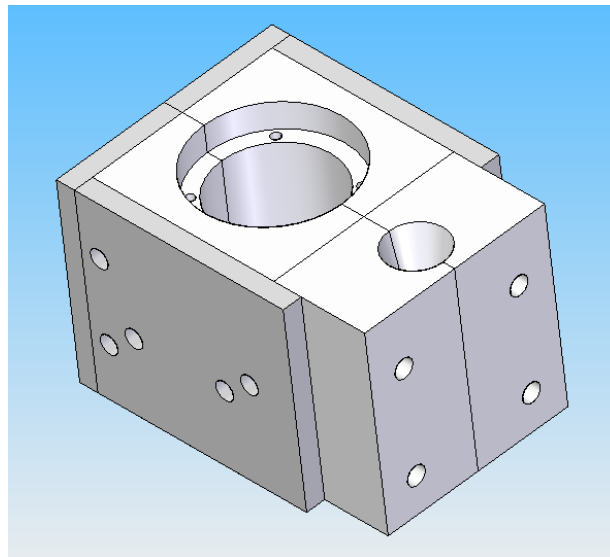
En cuanto a la pieza de la izquierda observamos 5 agujeros. Todos ellos son pasantes pero su objetivo es diferente.

Los dos interiores que se encuentran a la misma altura, actuaran de pasantes para los tornillos que van a unir la pieza con la mitad del molde que le corresponde.

Los otros tres también actúan de pasantes pero para los tres tornillos que van unir la pieza de la U y su correspondiente mitad del molde junto con la mitad del molde del lado opuesto.

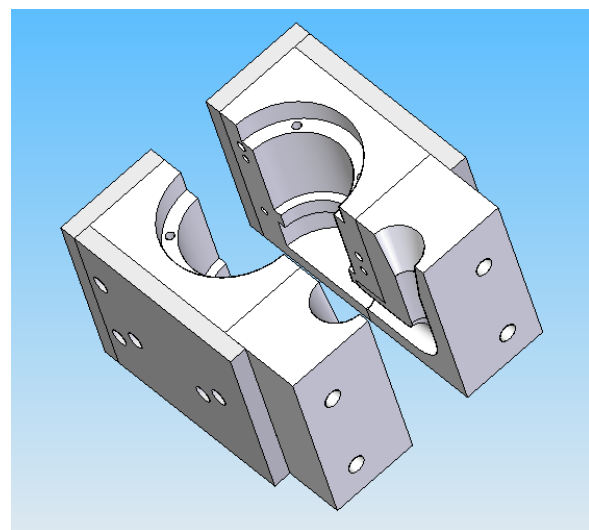
El objetivo sigue siendo el mismo que con los procesos anteriores de desmoldeo y extracción de la pieza del molde: tratar que la cantidad de tornillos que se tengo que quitar sean los mínimos y que el conjunto se separe en dos partes con todas las piezas que pertenecen a cada parte moviéndose solidariamente. En este caso, con quitar únicamente tres tornillos habremos completado totalmente la operación de desmoldeo.

El conjunto de la coquilla con la U quedaría de la siguiente forma.



Una vez realizada la colada y solidificado el material, éste sería el proceso de extracción de la pieza.

Vemos como toda la coquilla está partida en dos y se separa. De forma fácil se realiza la operación de desmoldeo.



## 6. TRABAJO CON SOLID EDGE V19

La pieza se puede ver modelada y dibujada en el programa informático **Solid Edge V19**, que ha sido la base sobre la que se ha diseñado tanto la pieza como los planos que posteriormente sirvieron a su fabricación. El trabajo con el programa informático ha sido la base sobre la que he desarrollado el Proyecto Fin de Carrera. Sin el asistente de dibujo, no habría sido posible la realización del mismo.



El proceso se inició con una familiarización con el programa por mi parte, que resultó muy útil ya que no había tenido la oportunidad durante mis estudios de haber manejado este programa informático. Había tenido la oportunidad de usar programas similares como el Auto Cad, pero existen diferencias entre ambos programas que hacían necesario esta primera toma de contacto con el asistente de dibujo.

Se pueden diferenciar claramente dos periodos de trabajo con el programa informático, relacionados entre sí pero absolutamente dependientes el uno del otro.

El proceso empezó con el modelado en 3d de la pieza que iba a resultar de la fundición y de todos los componentes y moldes que iban a ser necesarios para su fabricación. En esta fase diseñé en Solid Edge el molde, los bebederos, la caja de machos, el macho y la U. Una vez modeladas se vieron los resultados y se comprobaron que las medidas y dimensiones coincidieran. Fue, casi con total probabilidad, la fase que más tiempo requirió por mi parte debido a que se empezaba de cero y debido también a los cambios que iban surgiendo y que se antojaban necesarios.

Se crearon además conjuntos de todas las piezas y se comprobó si existían interferencias entre ellas, si las medidas eran las correctas para que todo encajara perfectamente, etc. Se pudo comprobar, por ejemplo, que una vez solidificado el material no iba a existir ningún tipo de problema a la hora de separar la pieza creada y los moldes.

Posteriormente y una vez modeladas en 3d todas las piezas necesarias, centré mis esfuerzos en realizar los trece planos que han sido necesarios para la fabricación. Se trata en este caso de un modelado en 2d que se ha realizado con el mismo programa informático, demostrando así las múltiples aplicaciones que este posee.



En esta fase, se plasmaron en plano todas las piezas que previamente se habían modelado en 3d. Esta iba a ser la fase que nos iba a permitir convertir en realidad la pieza. Los planos fueron realizados bajo las premisas del director del proyecto.

Se trató de un proceso menos costoso, pero que entrañaba su dificultad ya que los planos iban a ser la base sobre la que se iba a trabajar en la fabricación real de la pieza. Todos los planos generados en el programa Solid Edge V19 para la realización del proyecto pueden consultarse en el anexo.

Sin embargo, Solid Edge también ha presentado complicaciones para el alumno. El desconocimiento que tenía hacia el programa hizo que el primer periodo de uso del programa tuviera un ritmo lento.

La fase en la que he tenido mayores problemas ha sido en la del modelado de las piezas en 3d.

Han surgido en varias ocasiones situaciones en las que no he sabido como continuar modelando determinadas formas o como obtener funciones del programa que eran básicas para la continuación del proyectos. Las soluciones las encontré en los tutoriales que el mismo programa proporciona pero sobre todo en el director del proyecto, que me ayudaba a resolver el problema y poder continuar modelando las piezas. El personal del departamento de Ingeniería de Diseño y fabricación también me ayudo a superar ciertos “atascos” que sufrí en la elaboración de las piezas.

Una vez concluida la fase de modelado, se trabajó en la creación de los planos. Esta fase de trabajo me presento menos dificultades en lo que se refiere al modelado, ya que considero que es más sencilla de utilizar la programación en 2d que en 3d.

Los principales problemas surgieron a la hora de realizar las vistas y acotación de las piezas en los planos. La falta de práctica hizo que ubicara de forma errónea alguna cota. El director del proyecto me tuteló eficazmente en ese y otros aspectos en aras de conseguir que los planos fueran precisos y fieles a lo que se quería representar para su posterior fabricación.

## 7. APLICACIONES POSTERIORES DEL PFC

### Guión de prácticas de fundición para el alumno

Los objetivos de este Proyecto Fin de Carrera no sólo se limitan al diseño y fabricación de la coquilla y de la pieza de fundición. Se ha querido ir más allá y se ha decidido trabajar sobre el proyecto para que éste pueda tener una función didáctica para los alumnos que estudien los procesos de fundición en alguna asignatura de los estudios universitarios de Ingeniería Mecánica.

De este modo, se decidió la elaboración de un guión de práctica de fundición. En él, se explicará paso a paso las diferentes operaciones a realizar por los alumnos para conseguir la pieza de fundición que es objeto de este Proyecto Fin de Carrera. Se consigue encontrar una aplicación práctica a todo el proceso de diseño y fabricación en el ámbito de la docencia.

El guión en cuestión contendría una pequeña introducción a modo de definición de un proceso de fundición, las distintas partes y operaciones que la forman y los problemas o defectos que sufren las piezas fundidas.

A continuación, se mostraría una serie de pasos que los alumnos deben realizar para conformar la pieza, acompañados de fotos para que las instrucciones se muestren de forma más clara e intuitiva.

Un esquema sencillo de los pasos a seguir sería el siguiente:

- Reconocimiento e identificación de piezas y herramientas.
- Creación del macho de arena.
- Acople y unión y preparación de todas las piezas necesarias en la fundición.
- Fundición y colada del material.
- Extracción de la pieza y análisis de ésta y sus defectos.
- Repetición de la colada con el bebedero de menor sección y con la U como refuerzo del molde para posteriores análisis de la pieza y de sus defectos.

Se trataría de que los alumnos comparasen que las variaciones en las condiciones de la colada así como en las paredes del molde tienen diferentes efectos en la conformación de las piezas. Como cambiando la sección de la colada o el espesor de las paredes del molde se producen unos u otros defectos en la pieza.

Otro aspecto a analizar sería que el alumno comprendiese la importancia de realizar de forma adecuada las operaciones que forman parte de la fundición

- Correcta conformación del macho
- Vertido de la colada de forma cuidadosa y prudente.

Por último se haría especial hincapié en la correcta utilización de los materiales y en la prudencia a la hora de usar las herramientas disponibles en el taller.

La creación del guión de prácticas y la posterior fabricación de la pieza en base a éste, constituye una fuente de conocimiento que este proyecto fin de carrera puede aportar a los alumnos. Además, puede cumplir con el objetivo de profundizar e intentar hacer más fácil la comprensión del proceso de fundición por su parte.

## 8. SIMULACION EN QUICK CAST

Para facilitar el análisis de los procesos de fundición y observar de antemano los posibles problemas y soluciones aplicables, existen softwares que imitan y reproducen la fundición virtualmente para poder hacer evaluaciones completas del proceso.

Un programa que simula la fundición es Quick Cast. Dicho programa es una solución completa que permite el análisis predictivo de todo el proceso de fundición incluyendo el llenado y defectos de solidificación, las propiedades mecánicas y la parte distorsión compleja. Esto permite una rápida visualización de los cambios de diseño y permite una correcta toma de decisiones en una etapa temprana del proceso de fabricación.

El uso de este programa en este proyecto está más enfocado hacia la comparación entre el proceso simulado realizado por el programa y el proceso real que se ha generado.

Tuve la oportunidad de utilizar el programa para simular la operación de fundición que era objeto de mis prácticas. En dicha simulación se encontraron errores que pudieron ser subsanados en periodos tempranos de diseño, lo que facilitó el diseño en sí y ahorró tiempo para la correcta fabricación de las piezas que intervendrían en el proceso de creación de la pieza.

Así pues, la herramienta Quick Cast fue un factor de gran utilidad en la realización del mi Proyecto Fin de Carrera, ya que supuso una ayuda y un apoyo para mí en la creación, partiendo desde cero, de los procesos y piezas que harían posible la fundición planteada.

## 9. VALORACION PERSONAL

La valoración que hago de la realización de mi Proyecto Fin de Carrera y de los resultados obtenidos es plenamente satisfactoria.

La oportunidad que me ha sido brindada para realizar el proyecto en el ámbito industrial de la fabricación y más concretamente en el proceso de la fundición, creo que me será de gran ayuda en un futuro debido a las múltiples aplicaciones que un proceso así puede tener en el mundo de la empresa.

Todo el esfuerzo realizado se ve totalmente compensado por los frutos obtenidos ya que además conlleva doble recompensa.

La primera de ellas es poder finalizar mis estudios de Ingeniería Técnica Industrial Mecánica en la Universidad de Zaragoza y poder completar de este modo los 236 créditos que componen la diplomatura que he cursado.

La segunda recompensa es la experiencia obtenida durante todo el proceso de realización del proyecto. Haber tenido la oportunidad de trabajar con un profesor de universidad es uno de los mayores privilegios que he podido obtener, así como los diferentes retos que fueron surgiendo y que con su ayuda he sido capaz de superar. La experiencia de tener un proyecto a medio plazo en el que depositar los conocimientos adquiridos durante mis años de estudio y trabajar día a día es beneficiosa para mi desarrollo como estudiante y para mi conocimiento de cara a desenvolverme mejor en el mercado laboral.

Además, haber estado involucrado en ambientes de trabajo como el que se desarrolla en el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación me va a ayudar sin duda a que mi futuro laboral en una empresa no me resulte tan extraño en primera instancia.

Por último quería mostrar mi agradecimiento al director del proyecto, D. Jesús Casanova Agustín quién gracias a su eficaz tutela y gran esfuerzo ha influido decisivamente en que los objetivos de este proyecto fueron holgadamente colmados.

## **ANEXO: PLANOS**